



Bending resistance of foam concrete beams reinforced with composite fittings

Slavcheva, G.S.^{1*}; Kotova, K.S.^{1**}

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

* gslavcheva@yandex.ru

** kottova-k@yandex.ru

Keywords:

Foam concrete; Beams; Composite fittings; Joint work; Deflection; Bending resistance

Abstract:

The possibility of using glass composite fittings in bent elements made of foam concrete to determine the rational practical foam concrete application and options for their reinforcement in building structure has paper considered. Single beams, made of cement foam concrete and reinforced with various reinforcement frames of glass composite fittings, were investigated as flexural elements. Beams reinforced with welded frames are accepted as base comparison. The beam tests were carried out according to regulatory requirements with registration of load values and deformations and deflections during the test. Beam deflections were measured until the beam carrying capacity was exhausted. As a result, the ultimate load values and deflections of foam concrete beams were determined. According to the test results, the nature of the destruction of beams reinforced by various reinforcement frames and diagrams of deflection dependency on the bending moments are presented. It has been established that the values of beams deflections reinforced with glass composite fittings are 8.5% higher than the values of beams deflections reinforced with welded frames. However, the deflection values of beams with standard framework from glass composite fittings do not exceed the maximum permissible deflection value of 9,75 mm. Therefore, the glass composite fittings can be adopted to reinforce the foam concrete flexural elements.

1 Introduction

Цементные пенобетоны могут рассматриваться как достаточно конкурентоспособный материал для малоэтажного монолитного строительства. Простота и универсальность технологии пенобетона, возможность получения его непосредственно на строительной площадке снижает затраты в строительном цикле. Одновременно, возведение цельномонолитного дома из пенобетона позволяет облегчить вес конструкций, снизить нагрузку на фундаменты, достичь эффекта создания теплоизоляционной оболочки и, как результат, снизить затраты на нагрев здания. Однако, проблемным аспектом, сдерживающим его применение для возведения всех конструкций здания, является вопрос возможности изготовления изгибаемых несущих конструкций [1].

Ключевым параметром, характеризующим надежную работу конструктивного элемента, является прочность сцепления бетона с арматурой. Применительно к армированию конструкций из пено- и газобетонов ведутся активные исследования по использованию внешнего армирования из легких стальных холодногнутых профилей, являющихся одновременно элементами несъемной опалубки [2]–[7]. Ведется поиск путей замены металлической арматуры на неметаллическую на основе современных композиционных материалов из-за проблемы коррозии. Проблемы совместной работы традиционной металлической и новой композитной арматуры с цементными тяжелыми и легкими бетонами различных классов достаточно хорошо изучены [8]–[20]. Однако, применительно к пенобетону, отличающемуся макропористой структурой, данный вопрос в настоящее время системно и комплексно не раскрыт.

Slavcheva G.S.; Kotova K.S.

Bending resistance of foam concrete beams reinforced with composite fittings

2020; *Construction of Unique Buildings and Structures*; Volume 90 Article No 9006. doi: 10.18720/CUBS.90.6

Результаты проведенных нами ранее исследований параметров сцепления композитной арматуры с пенобетоном [21], [22] позволили установить, что значение прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с пенобетоном соответствует минимальному допустимому значению по стандарту EN 1992-1-1-2009 [23]. Это дало основание предположить возможность ее использования для армирования изгибаемых пенобетонных конструкций.

Цель исследования – оценить возможность изготовления изгибаемых элементов из пенобетона, армированных стеклокомпозитной арматурой. Для достижения данной цели в исследовании решались следующие задачи:

- 1) экспериментальная оценка величины разрушающей нагрузки и прогибов пенобетонных балок, армированных стеклокомпозитной арматурой;
- 2) экспериментальная оценка характера разрушения балок, армированных различными арматурными каркасами;
- 3) сопоставительная оценка параметров разрушения пенобетонных балок, армированных стеклокомпозитной и металлической арматурой, с нормативными требованиями.

Полученные данные позволят определить рациональную область применения пенобетона и варианты их армирования в конструктивных элементах зданий.

2 Methods

В качестве изгибаемых элементов для оценки прочности были приняты балки из цементного пенобетона класса В7,5, марки по средней плотности D1400, армированные стеклокомпозитной арматурой. Характеристика используемых в эксперименте арматурных изделий и пенобетона представлены в таблице 1. В работе для изготовления образцов использовались составы пенобетона, оптимизированные по комплексу свойств в ранее проведенных исследованиях [24].

Таблица 1. Характеристики используемых материалов

Table 1. Material's characteristics

Характеристики арматуры		Характеристики пенобетона		
Вид арматуры	Диаметр стержня, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Модуль упругости Es, МПа	Прочность при сжатии Rb, МПа
Стекло-композитная	Ø6	1400	9 000	9,1
	Ø8			

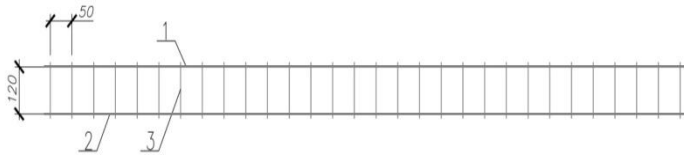
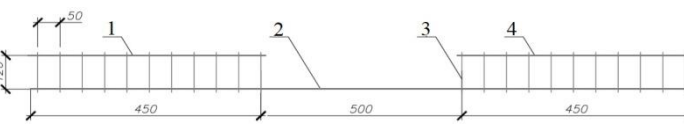
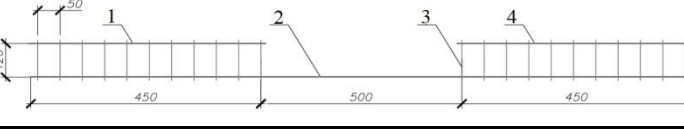
Пенобетон изготавливался двустадийным способом: на первой стадии происходило смешивание воды с воздухововлекающей и суперпластифицирующей добавками ПАВ, на второй стадии добавляли вяжущее с заполнителем. Перемешивание производилось в смесителе турбинного типа при скорости 1300 мин-1 в течение 4-х минут. После укладки смеси в форму производилось ее кратковременное вибрирование для удаления заземленного у стенок форм воздуха.

Балки прямоугольного поперечного сечения изготавливались с размерами 1400 × 120 × 60 мм. Для каждой серии эксперимента было изготовлено по три балки. Первая серия балок армировалась непрерывным по длине арматурным каркасом. Рабочая арматура диаметром 8 мм устанавливалась в растянутой и сжатой зонах балок. Шаг поперечных стержней принят равным 50 мм. Вторая серия балок изготавливалась с отсутствием арматуры в сжатой зоне средней части пролета. Рабочая арматура диаметром 8 мм устанавливалась только в растянутой зоне балки, а в сжатой – конструктивная. Поперечные стержни каркаса диаметром 6 мм расположены в крайних третях пролета с шагом стержней 50 мм.

Схема армирования балок и параметры арматурных каркасов применяемых в испытываемых балках представлены в таблице 2. Процент армирования балок подобран исходя из размеров имеющихся опалубочных форм.

Таблица 2. Параметры арматурных каркасов

Table 2. The reinforcement frames parameters

Шифр балки	Характеристики арматурного каркаса		Вид арматурного каркаса
	номер позиции	параметры арматурных элементов	
первая серия эксперимента (стеклокомпозитная арматура)			
БП1-8С	1	Ø8 АСК L=1400	
	2	Ø8 АСК L=1400	
	3	Ø6 АСК L=120 30 ШТ	
вторая серия эксперимента (стеклокомпозитная арматура)			
Б2-8С	1	Ø8 АСК L=450	
	2	Ø8 АСК L=1400	
	3	Ø6 АСК L=110 22 ШТ	
	4	Ø8 АСК L=450	
параметры стального арматурного каркаса (база для сравнения)			
Б3-8	1	Ø8 L=450	
	2	Ø6 L=120 22 шт	
	3	Ø8 L=1400	
	4	Ø8 L=450	

Деформации бетона измерялись при помощи тензорезисторов с базой 55 мм. Для проведения испытаний на изгиб тензорезисторы наклеивались на поверхность балки в пяти уровнях по высоте сечения, а также в зонах крайних сжатых и растянутых волокон. Схема наклейки тензорезисторов на балки в зависимости от серии эксперимента и схема установки приборов приведена на рис. 1 и рис. 2.

Испытание однопролетной балки проводилось на гидравлической установке Instron 600KN. Испытания балок выполнялись согласно требованиям стандарта ГОСТ 8829-2018 [25] с регистрацией в процессе испытания значений нагрузки и соответствующих деформаций и прогибов. Общий вид балки из пенобетона в испытательной установке Instron 600 KN показан на рис. 3.

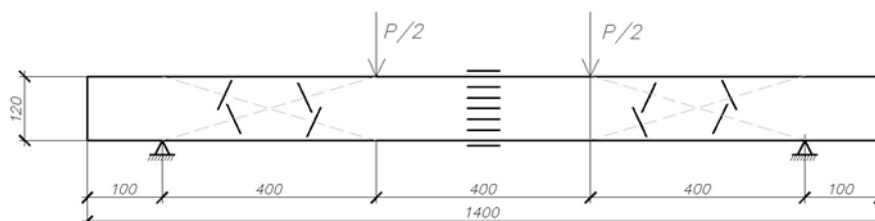


Рис. 1 - Схема размещения тензодатчиков на опытных балках первой серии для проведения испытаний на изгиб

Fig. 1 - Testing scheme and layout of strain gauges on beams of first series for bending tests

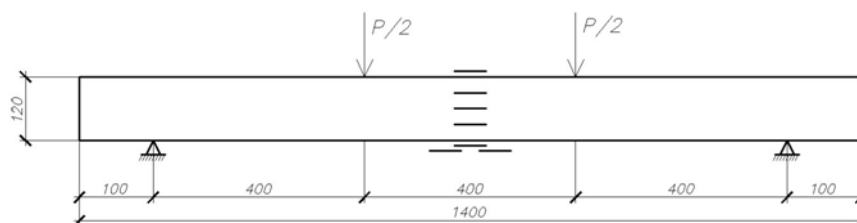


Рис. 2 - Схема размещения тензодатчиков на опытных балках второй серии эксперимента для проведения испытаний на изгиб

Fig. 2 - Testing scheme and layout of strain gauges on beams of second series for bending tests

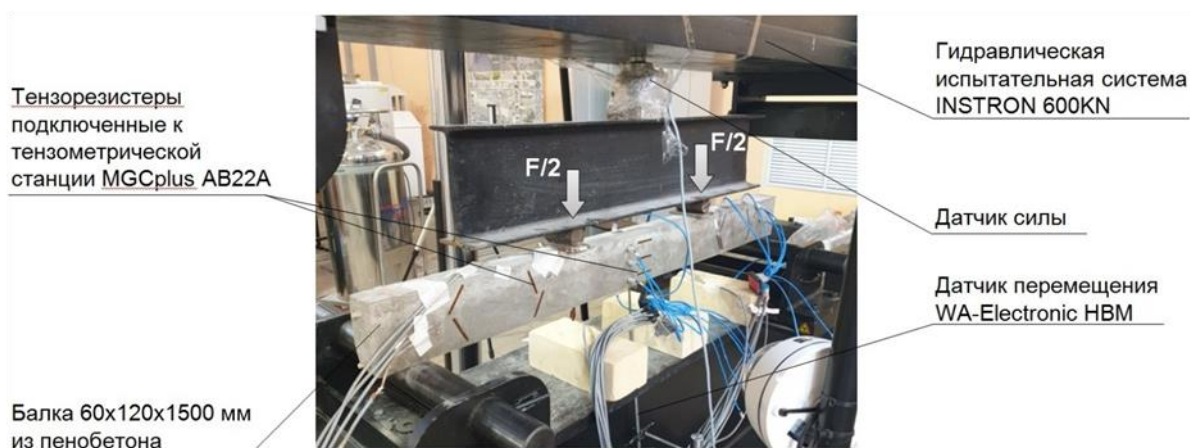


Рис. 3 - Общий вид балки из пенобетона в испытательной установке Instron 600 KN

Fig. 3 - General view of foam concrete beam in the Instron 600 KN test unit

В процессе проведения испытаний, фиксировалась величина прикладываемой нагрузки, значения деформаций бетона, прогиб балки. Прогибы балок измерялись вплоть до исчерпания несущей способности балки.

Нагрузка на балку прикладывалась через распределительную траверсу и передавалась двумя сосредоточенными силами, расположенными на расстоянии в $1/3$ пролета от опор через цилиндрические шарниры. Нагружение производилось за один этап плавным увеличением нагрузки со скоростью 1 мм/мин с помощью гидравлической системы. Балка опиралась на две шарнирные опоры.

С целью контроля прочности и плотности пенобетона одновременно изготавливались контрольные серии образцов-кубов размером 100 × 100 × 100 мм. Испытания на сжатие производились стандартным методом по стандарту ГОСТ 10180-2012 [26] с использованием универсальной 4-колонной напольной гидравлической испытательной системе 1500HDX фирмы INSTRON по истечению 28-суточного возраста образцов в центре коллективного пользования им. Ю.М. Борисова, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.

Композитная арматура по ряду свойств отличается от стальной арматуры, поэтому полученные результаты испытаний сравнивались с экспериментальными данными испытаний пенобетонных балок армированных металлической арматурой. В качестве базы для сравнения полученных результатов использовались экспериментальные данные Н.В. Новикова [27] испытаний балок на изгиб.

3 Results and Discussion

Оценка величины разрушающей нагрузки и прогибов пенобетонных балок, армированных стеклокомпозитной арматурой. Разрушающая нагрузка P для балок БП1-8С при изгибе для балок с полным каркасом БП1-8С составляет 4,6 кН. По результатам испытаний момент трещинообразования всех образцов балок первой серии эксперимента зафиксирован при нагрузке 0,2 от разрушающей P , что соответствует нагрузке 1,05 кН. Изгибающий момент

Slavcheva G.S.; Kotova K.S.

Bending resistance of foam concrete beams reinforced with composite fittings

2020; Construction of Unique Buildings and Structures; Volume 90 Article No 9006. doi: 10.18720/CUBS.90.6

характерный для балок первой серии эксперимента соответствующий максимальному прогибу составил 0,92 кН·м.

Разрушающая нагрузка P для балок Б2-8С с неполным каркасом при испытаниях на изгиб составляет 5,25 кН. Но следует отметить, что для проведения испытаний балок производилось усиление их опорных зон для сдерживания возникающих деформаций по наклонному сечению в результате обмотки приопорного сечения клейкой армолентой.

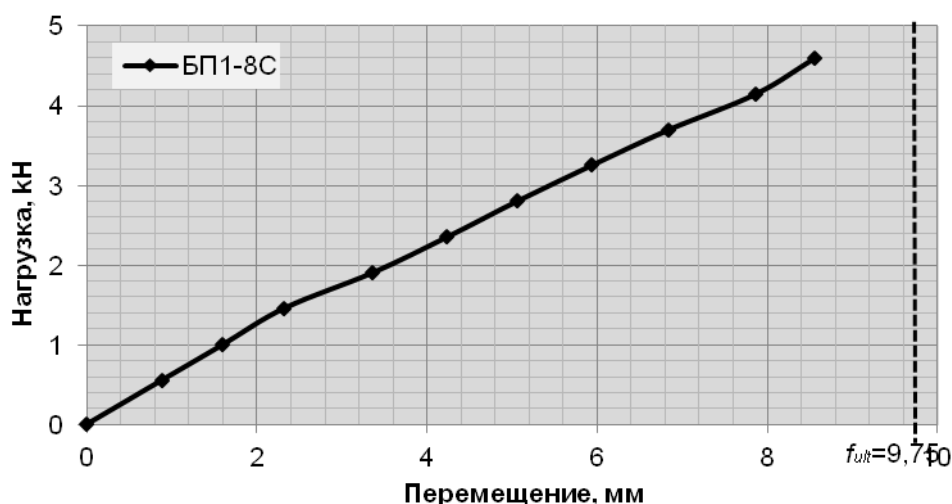


Рис. 4 - График зависимости прогиба балок первой серии эксперимента от приложенной нагрузки

Fig. 4 - Diagram of deflection dependency on the applied load for beams of the first experiment

Результаты испытаний второй серии балок Б2-8С с отсутствием арматуры в сжатой зоне показали, что прогибы двух балок из трех при разрушающих нагрузках не превышали допустимого прогиба f_{ult} (рис. 5). Изгибающий момент в балке Б2-8С, соответствующий предельно допустимому прогибу $f_{ult} = 9,75$ мм, составил 1,05 кН·м.

Оценка характера разрушения балок армированных различными арматурными каркасами.

В испытаниях балок первые видимые трещины появились в зоне чистого изгиба при нагрузке 0,1–0,2 от разрушающей P , которая соответствовала 0,48-0,58 кН. При разрушении изгибаемых элементов из пенобетона, армированного стеклокомпозитной арматурой, в растянутой зоне элемента образовывалось от 5 до 8 трещин (рис. 6).

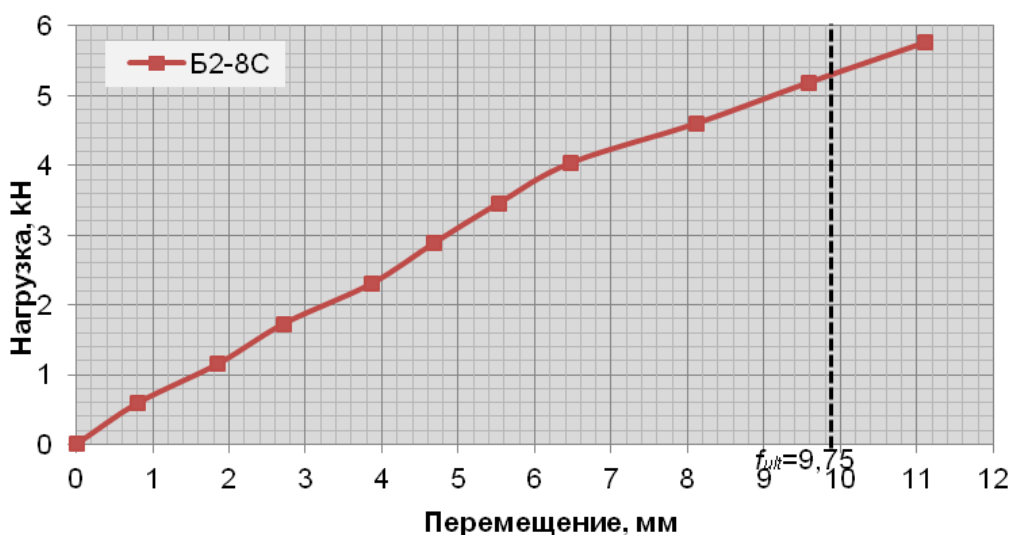


Рисунок 5. График зависимости прогиба балок второй серии эксперимента от приложенной нагрузки

Figure 5. Diagram of deflection dependency on the applied load for beams of the second experiment series



Рис. 6 - Характер трещинообразования пенобетонных перемычек в стадии разрушения при испытании на изгиб: а) с неполным каркасом; б) с полным каркасом

Fig. 6 - The nature of the crack formation of foam concrete lintel in the destruction stage during the bending test: a) with an incomplete framework; b) with full standard framework

Сопоставительная оценка параметров разрушения пенобетонных балок, армированных стеклокомпозитной и металлической арматурой, с нормативными требованиями. На основании результатов испытаний произведено построение диаграмм прогибов в зависимости от момента (рис. 7). Для балок первой и второй серии по мере возрастания изгибающего момента растет величина прогиба. Более медленный рост величины прогиба с увеличением изгибающего момента наблюдается у балки БП2-8С. Деформативность балок со стеклопластиковой арматурой в 2 раза больше, в сравнении с балкой БЗ-8 армированной металлической арматурой, принятой в качестве базы для сравнения.

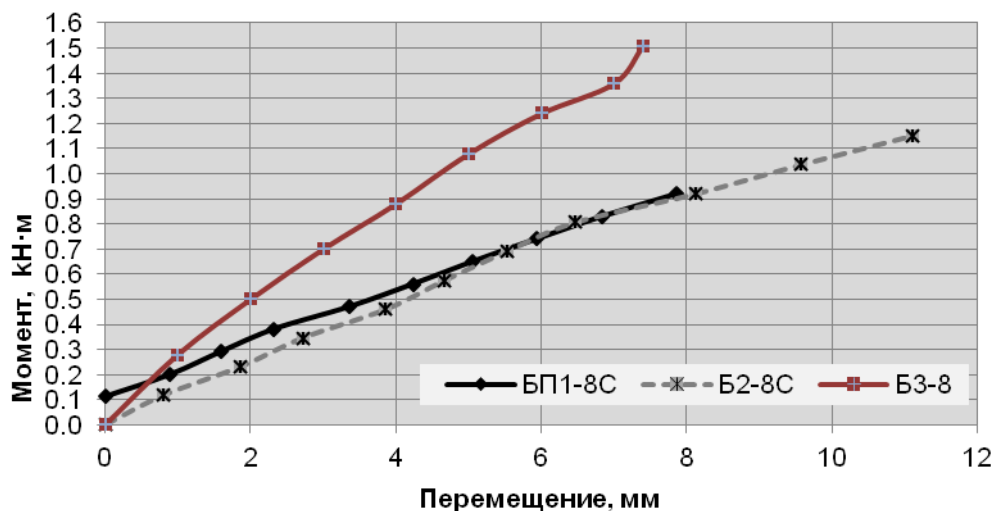


Рисунок 7. График зависимости прогибов балок, армированных стеклокомпозитной и металлической арматурой, от величины изгибающего момента

Figure 7. Diagram of deflection dependency on the bending moments for beams with welded frames and framework from glass composite fittings

Сравнение экспериментальных данных по прогибам балок армированных стеклокомпозитной арматурой с результатами, полученными в результате испытаний балок из пенобетона армированных металлической арматурой [27], приведено в таблице 3. Значения прогибов балок армированных стеклокомпозитной арматурой обладают на 8,5% большим

прогибом, чем балки с металлической арматурой. В отличие от стальной арматуры стеклокомпозитная арматура значительно деформируется при разрушении. В первую очередь, это связано с малым модулем упругости, что способствует снижению прочности изделий. В результате испытаний первой серии балок БП1-8С с полным каркасом установлено, что прогибы изгибаемых элементов при разрушающих нагрузках не превышали допустимых величин (см. рис. 4). Максимально допустимый прогиб f_{ult} в соответствии с СП 20.13330.2016 [28] принят равным 9,75 мм. Прогибы балок Б2-8С с неполным каркасом превышают предельно допустимое значение f_{ult} и значения прогибов балок серии БП1-8С.

Таблица 3. Сравнение экспериментальных данных по величине прогиба с данными, полученными в результате испытаний [27]

Table 3. Comparison of experimental data on the deflection value with the result of tests [27]

Шифр балки	Усилие при разрушении Р, кН	Экспериментальный момент М, кН *м	Прогиб при разрушении f, мм
Б3-8 (эталон)	7,25	1,45	7,4
БП1-8С	4,6	0,92	8,5
Б2-8С	5,25	1,05	11,1

4 Conclusions

Несмотря на то, что значения прогибов балок, армированных стеклокомпозитной арматурой обладают на 8,5% больше, чем балок с металлической арматурой, значения прогибов балок со стандартным (полным) стеклокомпозитным каркасом не превышают предельно допустимого значения прогиба $f_{ult} = 9,75$ мм. Следовательно, стеклокомпозитная арматура может быть принята для армирования изгибаемых элементов из пенобетона.

На этом основании представляется перспективным применение цементного пенобетона марок по средней плотности D1200 – D1600 не только для возведения сжатых конструкций (внутренних и наружных стен, армопояса и т.д.), но и изгибаемых. Вопрос их армирования стеклокомпозитной арматурой требует дальнейшего изучения. Задачами дальнейших исследований является изучение влияния типа армирования, способов закрепления арматурных стержней между собой, процента армирования на прочность изгибаемых элементов.

References

- Slavcheva, G.S., chernyshov, E.M., novikov, M.V. Thermal Efficient Foam Concretes of a New Generation for Low-Rise Construction. *Stroitel'nye Materialy*. 2018. 750(7). Pp. 20–24. DOI:10.31659/0585-430x-2017-750-7-20-24.
- Rybakov, V.A., Ananeva, I.A., Rodicheva, A.O., Ogidan, O.T. Stress-strain state of composite reinforced concrete slab elements under fire activity. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. 74(6). Pp. 161–174. DOI:10.18720/MCE.74.13.
- Rybakov, V.A., Kozinetc, K.G., Vatin, N.I., Velichkin, V.Z., Korsun, V.I. Lightweight steel concrete structures technology with foam fiber-cement sheets. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 82(6). Pp. 103–111. DOI:10.18720/MCE.82.10.
- Rybakov, V., Seliverstov, A., Petrov, D., Smirnov, A., Volkova, A. Strength characteristics of foam concrete samples with various additives. *MATEC Web of Conferences*. 2018. 245. DOI:10.1051/mateconf/201824503015.
- Rybakov, V. Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2020. 89(4). Pp. 8907–8907. DOI:10.18720/CUBS.89.7.
- Rybakov, V., Seliverstov, A., Petrov, D., Smirnov, A., Volkova, A. Lightweight steel concrete structures slab panels load-bearing capacity. *MATEC Web of Conferences*. 2018. 245. DOI:10.1051/mateconf/201824508008.
- Rybakov, V.A., Ananeva, I.A., Pichugin, E.D., Garifullin, M. Heat protective properties of enclosure structure from thin-wall profiles with foamed concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2020. 94(2). Pp. 11–20. DOI:10.18720/MCE.94.2.
- Khazin, V.G., Gizdatullin, A.R. Collaboration of polymer composite reinforcement and cement

Slavcheva G.S.; Kotova K.S.

Bending resistance of foam concrete beams reinforced with composite fittings

2020; *Construction of Unique Buildings and Structures*; Volume 90 Article No 9006. doi: 10.18720/CUBS.90.6

- concrete. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2018. 991. Pp. 12044. DOI:10.1088/1742-6596/991/1/012044.
9. Kustikova, Y. Application FRP-rebar in the Manufacture of Reinforced Concrete Structures. *Procedia Engineering*. 2016. 153. Pp. 361–365. DOI:10.1016/j.proeng.2016.08.128.
 10. Alkjk, S., Jabra, R., Alkhater, S. Preparation and characterization of glass fibers – polymers (epoxy) bars (GFRP) reinforced concrete for structural applications. *Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering*. 2016. 11. DOI:10.1515/sspjce-2016-0002.
 11. Kaszynska, M., Błyszko, J., Olczyk, N. Comparison of Failure Process of Bended Beams Reinforced with Steel Bars and GFRP Bars. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. 245. Pp. 22028. DOI:10.1088/1757-899X/245/2/022028.
 12. Li, T., Zhu, H., Wang, Q., Li, J., Wu, T. Experimental study on the enhancement of additional ribs to the bond performance of FRP bars in concrete. *Construction and Building Materials*. 2018. 185. Pp. 545–554. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.06.198.
 13. Nikolyukin, A., Yartsev, V., Kolomnikova, I., Dhafer Zeid, A. Experimental studies of the strength of adhesion of fiberglass reinforcement with cement-sand concrete. *Russian journal of transport engineering*. 2019. 6(1). DOI:10.15862/02sats119.
 14. Shang, H., Cui, F., Zhang, P., Zhao, T., Ren, G. Bond behavior of steel bar embedded in recycled coarse aggregate concrete under lateral compression load. *Construction and Building Materials*. 2017. 150. Pp. 529–537. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.05.060.
 15. Caro, M., Jemaa, Y., Dirar, S., Quinn, A. Bond performance of deep embedment FRP bars epoxy-bonded into concrete. *Engineering Structures*. 2017. 147. Pp. 448–457. DOI:10.1016/j.engstruct.2017.05.069.
 16. Abdalla, H.A. Evaluation of deflection in concrete members reinforced with fibre reinforced polymer (FRP) bars. *Composite Structures*. 2002. 56(1). Pp. 63–71. DOI:10.1016/S0263-8223(01)00188-X.
 17. Choi, D.U., Chun, S.C., Ha, S.S. Bond strength of glass fibre-reinforced polymer bars in unconfined concrete. *Engineering Structures*. 2012. 34. Pp. 303–313. DOI:10.1016/j.engstruct.2011.08.033.
 18. Kabashi, N., Avdyli, B., Krasniqi, E., Këpuska, A. Comparative Approach to Flexural Behavior of Reinforced Beams with GFRP, CFRP, and Steel Bars. *Civil Engineering Journal*. 2020. 6(1). Pp. 50–59. DOI:10.28991/cej-2020-03091452. URL: www.CivileJournal.org (date of application: 13.07.2020).
 19. El Refai, A., Abed, F., Al-Rahmani, A. Structural performance and serviceability of concrete beams reinforced with hybrid (GFRP and steel) bars. *Construction and Building Materials*. 2015. 96. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2015.08.063.
 20. Noor A. A. H., Azmi I., Rendy T., H.A.H. [PDF] Experimental Investigation on the Shear Behaviour of Concrete Beams Reinforced with GFRP Reinforcement Bars | Semantic Scholar. *Composite Structures*. 2013. 56(1). Pp. 559–563. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Experimental-Investigation-on-the-Shear-Behaviour-Noor-Azmi/0946845639860974ba66f6199313866a213a26a2> (date of application: 13.07.2020).
 21. Kotova, K., Slavcheva, G. Composite materials cohesion parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 489. Pp. 12006. DOI:10.1088/1757-899X/489/1/012006.
 22. Kotova, K. The influence of the characteristics of the foam concrete macroporous structure on the parameters of its adhesion to reinforcement. *Вестник Инженерной школы ДВФУ*. 2019. 41(4).
 23. EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings 2004.
 24. Novikov, M.V., Chernyshov, E.M., slavcheva, G.S. Mechanical Properties of Cement Porous Concrete at Uniaxial Compression with Due Regard for Regularities of Its Creep. *Construction materials*. 2016. (11). Pp. 26–30. URL: <https://journal-cm.ru/index.php/en/journals/2016/all-articles-in-2016/mechanical-properties-of-cement-porous-concrete-at-uniaxial-compression-with-due-regard-for-regularities-of-its-creep> (date of application: 13.07.2020).
 25. RussianGost|Official Regulatory Library - GOST 8829-94. URL: <https://www.russianguost.com/p-18439-gost-8829-94.aspx> (date of application: 13.07.2020).
 26. RussianGost|Official Regulatory Library - GOST 10180-2012. URL: <https://www.russianguost.com/p-71067-gost-10180-2012.aspx> (date of application: 13.07.2020).
 27. Novikov M.V. Power resistance of normal sections of bent reinforced elements from construction

Slavcheva G.S.; Kotova K.S.

Bending resistance of foam concrete beams reinforced with composite fittings

2020; *Construction of Unique Buildings and Structures*; Volume 90 Article No 9006. doi: 10.18720/CUBS.90.6

- aerated concrete. *Bulletin of civil engineers*. 2016. 56(3). Pp. 60–66. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26467959> (date of application: 13.07.2020).
28. RussianGost|Official Regulatory Library - SP 20.13330.2016. . 2013URL: <https://www.russiangost.com/p-220714-sp-20133302016.aspx> (date of application: 13.07.2020).